

木材乾燥의 自動化에 관한 研究(I) - 連續溫度上昇스케줄을 이용한 木材乾燥裝置 自動化 - *1

李亨雨*2

Automation of Lumber Drying System(I) - Continuously Rising Temperature Drying of *Pinus densiflora* - *1

Hyoung-Woo Lee *2

ABSTRACT

An electrically heated experimental lumber dry kiln was retrofitted with a computer-based control system to control kiln conditions more precisely and monitor and record several kiln variables.

Flat-sawn 2.5cm-thick *Pinus densiflora* boards were dried in constant temperature process(65 °C & 50~60 %RH) and continuously rising temperature process, respectively.

The average drying rate in continuously rising temperature process was 5.7 %/hr, which was above 3 times faster than that in constant temperature process. But, the average rate of case-hardening and moisture difference between shells and cores of boards dried in continuously rising temperature process were 82 % and 5.5 %, respectively, which were much larger than those of boards dried in constant temperature process.

Keywords : Wood drying, kiln automation, CRT(continuously rising temperature process)

1. 緒 論

최근 국내 목재산업계에서는 원자재가격과 임금의 급격한 상승에 따른 경쟁력상실로 많은 어려움을 겪고 있는 실정이나 이러한 악조건에도 불구하고 자동화설비도입을 계획하고 있는 업체가 꾸준히 늘어나고 있음은 무척 다행스러운 일이다. 그러나 설비의 대부분이 외산으로 가격이 높아 중소기업체로서는 구입할 엄두도 못내는 것이 현실이다. 그러므로 자본이 부족한 중소기업체가 목재산업의 근간을 이루고 있는 우리 사정으로는 중소기업체의 규

모에 알맞는 가격과 기능의 자동화설비가 절실히 요구되고있다.

미국, 유럽, 일본등 목재산업 선진국들에서는 각 수종에 대한 적정열기 건조스케줄의 개발을 이미 1950년대에 종결하고 건조결함, 시간 및 소요에너지를 보다 절감하는 동시에 특수한 기술이 없는 작업자도 손쉽게 운영할 수 있거나 또는 작업자없어도 운영이 가능한 목재 건조 자동화시스템개발에 연구의 초점을 맞추어 왔다. Wengert등¹⁾이 참나무의 내부할렬 발생을 감소시키기 위해 착안한 무단계형(gradual) 스케줄을 적용하기 위하여 load

*1 接受 1993年 12月 24日 Received December 24, 1993

本 研究는 1992年度 教育部 支援 韓國學術振興財團의 自由公募(地方大育成) 學術研究造成費에 의하여 수행되었음.

*2 全南大學校 農科大學 College of Agriculture, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

cell을 이용한 건조자동화시스템의 구성을 시도한 이후 Holmes 등²⁾도 load cell을 이용, 건조중 함수율측정을 자동화함으로써 바람직한 결과를 얻은 바 있다.

1980년대 들어서 급속히 발전된 컴퓨터산업에 힘입어 동시에 8개의 건조실을 제어할 수 있는 산업용 건조자동화시스템³⁾이 출현하기에 이르렀으며, Little등⁴⁾은 BASIC언어를 사용한 제어프로그램을 작성, 건조중 함수율 측정에는 전기적 수분계보다는 load cell을 이용한 방법이 보다 바람직함을 보고한 바 있다. 일본에서도 1980년대 들어서 건조자동화시스템 개발에 관한 관심이 높아져 Shida 등^{5,6,7)}도 load cell을 이용한 시스템을 개발하였으며, 유럽에서도 Kunn등^{8,9)}이 BASIC언어와 자료수집장치(data acquisition system)를 사용한 건조자동화시스템을 구성, 사용자가 보다 쉽게 이용할 수 있도록 window 형태의 메뉴선택방식 등 user-interface기능을 강화한 software를 개발하고자 하였다. 이와 같은 자동화에 힘입어 기존의 건조스케줄을 수정, 보완하거나 새로운 개념의 스케줄을 개발하는 작업도 활발히 진행되고 있다.

국내에서는 목재건조시간 단축을 위한 스케줄의 개발 뿐만 아니라 개발된 스케줄의 적용을 위하여 필수적인 목재건조 자동화시스템에 관한 연구조차 이루어진 바가 거의 없고 단지, 李¹⁰⁾가 간단한 개인용컴퓨터를 이용, 태양열건조시스템을 자동화한 바 있다. 따라서 목재산업계에서는 막대한 비용을 들여 미국, 유럽 및 일본등지에서 시스템을 도입하고 있다. 그러나 전자산업의 발전으로 자동화시스템을 위한 제반 장치들은 국내에서 합리적인 가격에 모두 구입할 수 있는 실정임을 감안할 때 이와 같은 문제의 원인은 hardware를 작동시킬 수 있는 software개발에 대한 관심부족과 자동화를 실현하겠다는 목재기업인의 의지결핍으로 귀결된다고 하겠다. 그러나 software는 유능한 전기, 전자공학자나 프로그래머라 하더라도 그들이 독자적으로 작성할 수는 없는 것으로, 목재건조 자동화를 위한 software개발의 가장 기본적인이것도 중요한 것은 바로 목재와 목재건조에 관한 지식과 경험으로 그들과 목재건조 전문가들이 함께 연구할 때만이 개발이 가능하다고 하겠다. 그리고 앞으로의 자동화시스템 발전방향은 보다 효율적이고 사용이 간편한 다기능 software의 개발에 초점이 맞추어질 것이 분명하다.

그러므로 건조시스템의 자동화가 이루어져야만 구현이 가능한 여러가지 새로운 개념의 목재건조

스케줄의 개발과 간단하고도 제반 환경에 유연하게 대처할 수 있는 저렴한 가격의 목재건조 자동화시스템을 설계, 구성하고, 그에 따른 효과를 목재건조 특성조사를 통하여 구명한다면 목제품의 품질향상 및 생산성제고에 도움을 주고 더 나아가서는 생산품의 국제시장에서의 경쟁력을 향상시킬 수 있는 방안으로 활용될 수 있을 것이다.

본 연구는 상기한 과제의 1 단계로서 두께 2.5 cm 국산 소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.)를 대상으로 연속온도상승스케줄(continuously rising temperature schedule)을 위한 알고리즘을 개발하는 한편, 개인용 컴퓨터를 이용하여 저렴한 가격으로 실험용 인공건조실을 자동화하여 개발된 스케줄들을 적용할 수 있는 software를 개발함으로써 간단하고도 사용상 유연성이 풍부한 목재건조 자동화시스템의 기본모델을 제시하고자 하였다.

2. 材料 및 方法

2. 1. 목재건조 자동화시스템의 구성

목재건조 자동화시스템은 그림 1의 모식도와 같이 구성하였다. 공기가열을 위한 전기히터의 용량은 12kw이고, 가습기는 용량 12kw의 증기 분사 방식으로 건조기내부의 상대습도를 조절토록 하였다. 제습기는 1/3 마력의 용량을 가지고 있으나 냉매의 한계로 상온에서만 수동으로 작동되도록 하였다. 내부공기를 순환시키기 위해 사용된 blower 모터는 5 마력 삼상으로 최고 1730 rpm의 회전수를 낼 수 있다.

2. 1. 1. 온습도 및 함수율 측정

건조중 건조실내부 공기조건과 목재 자체의 온도를 측정하기 위하여 건습구온도센서(RTD Pt 100 Ω)와 열전대(J형)를 설치하였으며, 건조중 목재의 함수율변화를 측정하기 위하여 용량 50 kg의 외팔보형(cantilever beam type) load cell을 장착, 건조중 무게를 측정함으로써 미리 추정된 전건 무게에 의해 건조중 함수율을 산출하였다. 잔적의 흡기측과 배기측 온도는 열전대(J형)로 측정하여 TDAL(temperature drop across the load)를 산출할 수 있도록 하였다. TDAL은 일명 Delta T 라고도 하며 목재 잔적으로 더운 공기가 들어가고 빠져나올 때 공기의 온도는 낮아지게 마련이며 이때 온도가 낮아지는 정도는 목재의 함수율이 높을수록 커지게 된다.

2. 1. 2. 制御部の 구성

제어를 위한 시스템의 각 구성요소의 대부분은

대만산(상품명:LAB-Card)으로 국내 대리점을 통해 구입하였으며 그들의 규격은 표 1 과 같았다. 그리고 사용된 개인용컴퓨터는 IBM-PC 16 bit-AT였다. 개인용 컴퓨터에 data acquisition & control

card 및 amplifier & multiplexer board를 장착하고 온습도센서 및 무게측정용 load cell 등을 연결하여 온습도와 함수율변화를 자동 측정, 기록하는 한편, SSR(solid state relay) 등을 이용하여 건조

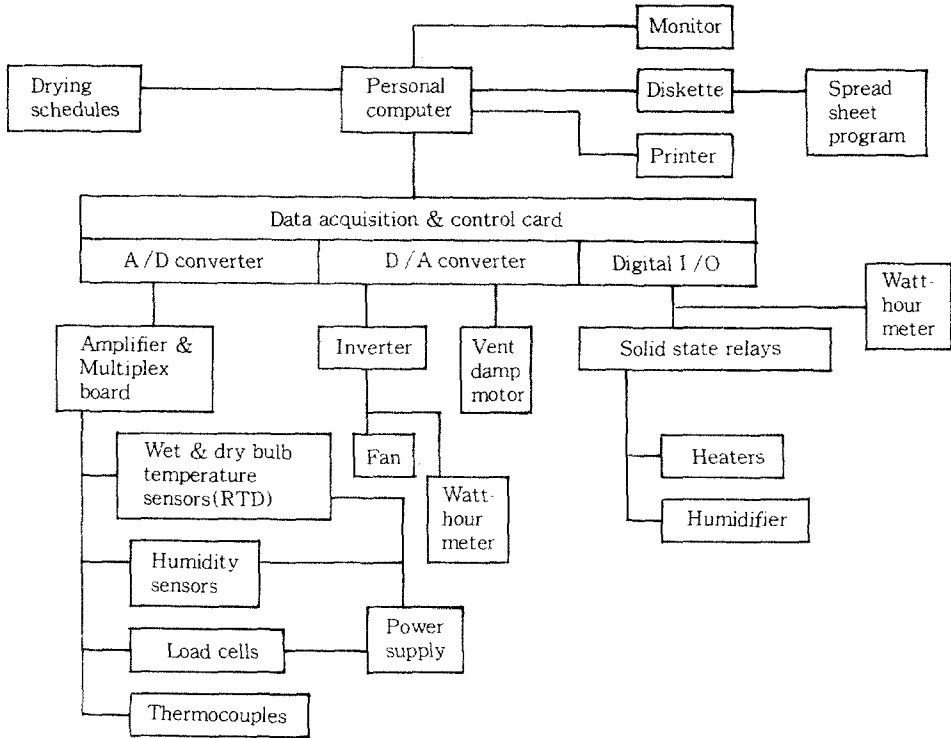


Fig. 1. Schematic diagram of automatic lumber drying system.

Table 1. Specifications of data acquisition and control system.

Model	PCL-812PG Enhanced Multiple-Lab Card	PCLD-889 Amplifier & Multiplexer Board	PCLD-785 Relay Output Board
Speification	Analog Input (Analog /Digital converter) Channels : 16 single-ended Input range : Bipolar: + / -5V (All input ranges are software programmable)	Input channels : 16 Input range : + / -10V Max. (varies on the gain selection)	Channels : 16 Relay type : SPDT (Form C)
	Analog Output (Digital /Analog converter) Channels : 2 channels Resolution : 12 bits Output range: 0 to 5V or 0 to 10V		
	Digital Input Channels : 16 bits		
	Digital Output Channels : 16 bits		

실의 열원 및 환기장치 등의 on/off 를 제어함으로써 기존의 일반 열건조 스케줄 뿐만 아니라 새로 개발될 스케줄에 따라서도 건조실 내부조건을 자동조절할 수 있는 시스템 및 시스템운용을 위한 software를 설계, 구성하였다. 즉, 각 센서로부터 발생하는 아날로그형태의 전기적 신호를 증폭기 (amplifier & multiplexer board)를 통하여 증폭한 후 개인용 컴퓨터에 내장된 data acquisition & control card의 A/D(Analog/Digital) converter로 컴퓨터가 수용할 수 있는 디지털신호로 바꾸어주며, 이때 입력된 정보를 주어진 시간에 따라 컴퓨터의 모니터 상에 계속해서 나타냄과 동시에 디스켓에 저장된 자료는 Quatro나 Lotus 등의 spread sheet프로그램을 이용하면 손쉽게 자료처리할 수 있는 file로 저장되도록 하였다.

2. 1. 3. 시스템제어 프로그램

시스템제어를 위한 프로그램은 고급프로그램언어 중 누구나 쉽게 접근할 수 있는 BASIC으로 작성하였으며, 그 순서도는 그림 2 와 같다. 컴퓨터에는 이미 작성된 건조스케줄들이 기억되어 있어 건조전 추정된 전건무게를 입력하면 건조중 센서로부터 계속된 시편무게(함수율)와 온습도조건에 비교하여 적절한 건조실내부온습도를 유지할 수 있도록 계속해서 명령을 SSR에 보내어 가열기와 가습기등 각종 장치의 on/off를 제어토록 하였다. 그리고 송풍기의 풍속은 D/A (Digital/Analog) converter(0-10V)를 통하여 모타에 연결된 inverter에 의해 조절하였다.

각종 장치의 on/off 제어를 위한 SSR은 입력전압 직류 3-32 V에서 작동하며, 송풍기모타의 회전수를 제어하여 풍속을 변환할 수 있도록 설치된 inverter는 5 마력형(출력정격주파수 0-120 Hz)으로 정현파PWM방식의 제어방식을 사용하는 모델을 사용하였다. inverter의 제어는 D/A converter를 통해 직류전압을 공급함으로써 가능하므로 8 bit 사용시 0-10 V를 4095 단계로 나누어 수치를 대입하나 실제 실험결과 이론적 수치의 대입에 따른 D/A converter의 출력전압이 고르지않아 그 결과들을 회귀분석(상관계수 $R=0.9999994$)하여 식(1)을 구하여 사용하였다. 그리고 출력전압에 따른 재간풍속은 열선풍속계(hot wire anemometer)로 측정, 식(2)와 같은 회귀식(상관계수 $R=0.9988917$)을 구하여 풍속제어에 이용하였다. 또한 습도조절을 위한 환기구의 damp motor도 D/A converter를 통해 0-10 V의 직류전압을 줌으로써 환기구의 개폐각도를 제어하여 건조실 내부로

유입되는 외부공기의 양을 조절하였다.

$$V_o = -5.795566 \times 10^{-3} + 2.509492 \times 10^{-3} V_a \dots\dots\dots(1)$$

$$V_a = -0.175001 + 0.6659093 V_o \dots\dots\dots(2)$$

V_o : 출력전압(V)

V_a : 이론적 입력수치(10진수)

V_A : 재간풍속(m/sec)

한편, 목재건조시 모든 조건의 변화는 動的(dynamic)이지 못하므로 계측 및 제어간격을 10 초로 하였으며, 자료의 수집과 기록은 10 분 간격으로

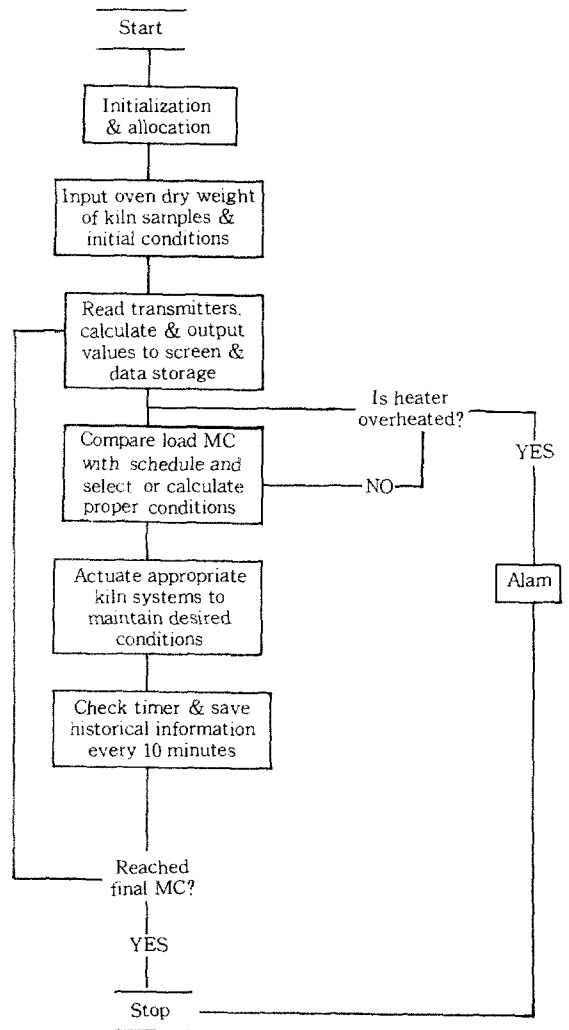


Fig. 2. Flowchart for computer control program

하도록 하였다. 그리고 건조기 가동중 시스템의 고장에 의한 과열을 방지하기 위한 예방 및 경고장치를 두었으며, 컴퓨터의 하드디스크에 batch file을 만들어 두어 정전후 재가동시에도 자동적으로 본 프로그램을 수행토록 하였다.

2. 2. 연속온도상승스케줄의 개발

연속온도상승스케줄은 Dedrick¹¹⁾이 착안하여 미국특허를 획득한 이후 Nassif 등¹²⁾의 연구자에 의해 그 효과가 입증된 새로운 개념의 목재건조스케줄이다. 즉, 건조중 목재를 둘러싼 공기의 온도가 비교적 낮더라도 시스템내에서 공기와 목재표면간의 온도경사가 열의 유동을 발생 시키기에 충분하다면 목재로부터 수분을 증발시킬 수 있고, 에너지의 효율도 크게 향상시킬 수 있다는 이론에 바탕을 두고 있다. 따라서 제한된 공간내의 공기온도를 목재온도와 일정한 온도경사가 유지되도록 계속 상승시킨다면 건조속도는 목재로의 열유입속도에 비례하므로 건조속도와 함께 에너지소비량도 현격히 감소시킬 수 있을 것이다.

그러나 목재표면온도의 측정에는 적외선온도계 등 비접촉식 장비가 요구되고 장비의 설치에도 많은 어려움이 있으므로 본 실험에서는 시험편의 두께 1/2 과 1/4 지점 두곳을 천공하여 온도센서(열전대)를 삽입하고 공기온도와 온도차를 지속적으로 측정하였으며, Dedrick¹¹⁾이 제시한 32~38 °C의 평균인 35 °C의 온도로 목재건조를 개시하면서 온도상승율을 시간당 3 °C로 하여 실시하였다. 재간풍속은 3 m/sec. 로 일정하게 유지토록 하였으며, 건조중 결함발생 특히, 건조초기 할렬의 발생을 방지하기 위하여 적소에 적당한 열기건조스케줄로 알려진 T 11-C 4 스케줄의 함수율단계별 습도스케줄을 따르도록 하였다.

한편, 온도 65 °C, 습도 50~60 %, 풍속 3 m/sec. 의 일정한 조건에서 건조를 실시하여 연속온도상승스케줄에 의한 결과와 비교토록 하였다.

2. 3. 스케줄적용과 건조특성조사 시험

국산 유용수종의 하나인 소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.)를 두께 2.5 cm의 생재상태 제재목으로 구입하여 건조공시목으로 사용, 건조소요시간 및 건조결함(할렬, 틀어짐, 표면경화등) 발생률을 조사하였으며, 모든 재료는 정확한 판목판재만을 선택하여 공시하였다. 그러나 각 건조방법별 공시목의 채취 시기가 동일하여 첫 실험기간동안 차기실험대상 공시목은 건조되어 초기함수율의

차이가 있었다. 한편, 건조에 소비된 전기에너지는 적산전력계를 이용, 측정하였다.

3. 結果 및 考察

3. 1. 건조곡선과 건조속도

65 °C, 50~60 % RH의 항온항습조건과 시간당 3 °C 연속온도상승스케줄을 2.5 cm 두께의 국산 소나무에 적용한 경우의 건조곡선은 각각 그림 3, 4 와 같았다. 항온항습조건에서는 초기함수율 61.4 %에서 최종함수율 6.6 %에 도달하기까지 30.8 시

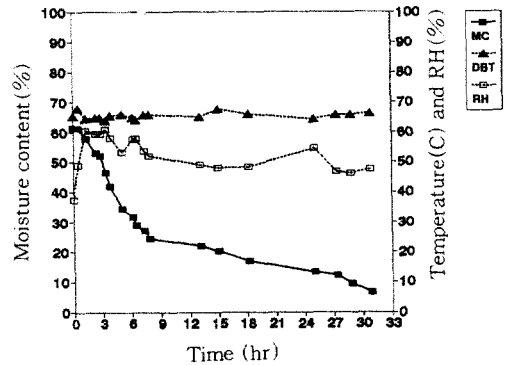


Fig. 3. Temperature, relative humidity and moisture content of 2.5 cm-thick *Pinus densiflora* versus drying time for the constant temperature process (MC=moisture content, DBT=dry bulb temperature in dry kiln, RH=relative humidity in dry kiln).

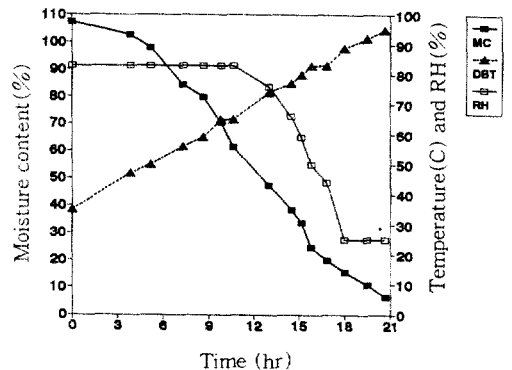


Fig. 4. Temperature, relative humidity and moisture content of 2.5 cm-thick *Pinus densiflora* versus drying time for the continuously rising temperature process (the same legends as those in Fig. 3.).

Table 2. Initial and final moisture content and drying rates of 2.5 cm-thick *Pinus densiflora* dried by constant temperature and continuously rising temperature schedule.

Drying schedule	MC(%)		MC range(%) and drying rate(% /hr)				
	IMC	FMC	~60%mc	60~30%mc	30~20%mc	20~10%mc	60~10%mc
CT* ¹	61.4	6.6	—	4.8	1.2	0.6	1.8
CRT* ²	107.2	6.4	4.3	6.1	8.3	3.4	5.7

*¹ CT : constant temperature schedule

*² CRT: continuously rising temperature schedule

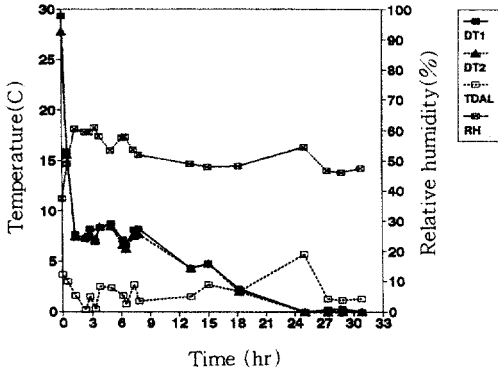


Fig. 5. Differences between dry kiln temperature and temperatures in wood, temperature drop across the load and relative humidity versus drying time for the constant temperature process(DT1=dry kiln temperature-wood core temperature, DT2=dry kiln temperature-temperature at the point which is one fourth of wood thickness below wood surface, TDAL=temperature drop across the load, RH=relative humidity).

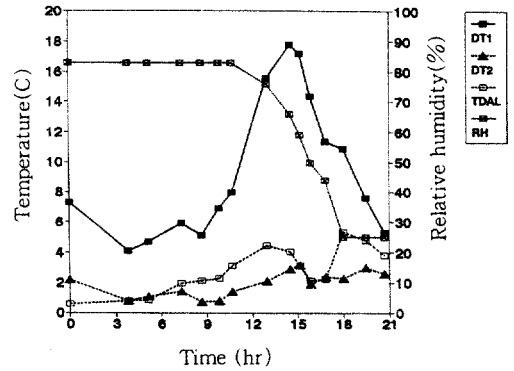


Fig. 6. Differences between dry kiln temperature and temperatures in wood, temperature drop across the load, and relative humidity versus drying time for the continuously rising temperature process(the same legends as those in Fig. 5.).

간이 소요되었으며, 평균 건조속도는 표 2에서 보는 바와 같이 시간당 1.8%였다. 건조곡선의 형태는 일반 열기건조의 경우와 흡사하였으나 ¹³⁾의 일반 열기건조실험결과인 평균 건조속도 0.64%/hr와 비교해보면 건조초기 건조속도가 상당히 빠른 것으로 나타났으며, 이것은 건조초기 일반열기 건조에서는 높은 상대습도(83%)를 유지하는데 반하여 상대적으로 낮은 상대습도를 적용한 결과로 사료된다.

그러나 연속온도상승스케줄을 적용한 경우의 건조곡선은 일반열기건조의 것 과 비교하여 매우 직선적으로 변화하고 있음을 알 수 있다. 평균 건조속도도 시간당 5.7%에 달하여 항온항습조건 3배이상에 달하였으며, 초기함수율 107.2%로부터 최종함수율 6.4%에 도달하기까지 약 20.7시간만

이 소요되었고, 최종온도는 95℃였다. 한편 건조 초기 건조속도가 지연된 것은 이 시기에 발생하는 할렬을 방지하기 위해 높은 상대습도(83%)를 유지하였기 때문이다. 따라서 만일 Dedrick¹¹⁾이 주장한 바와 같이 상대습도를 제어하지 않는다면 상당한 수준의 건조속도향상효과를 얻을 수 있을 것이다.

3. 2. 목재내부온도와 TDAL

목재표면으로부터 두께의 1/2 및 1/4 지점의 온도와 공기온도간의 온도차, 그리고 잔적의 흡기층과 배기층간의 온도차(이후 TDAL)의 건조시간에 따른 변화는 건조방법에 따라 그림 5, 6과 같이 나타났다. 항온항습조건에서는 건조초기 실온상태의 목재온도를 65℃까지 상승시켜야 하므로 공기온도와 목재내온도간의 차가 매우 컸으나 이후 온도차가 급격히 감소하였으며, 건조말기에는 거의 온도차가 없었다. 따라서 건조말기에는 공기와 목재간의 온도경

Table 3. Average number of knots, amounts of warp, rates of case-hardening, and moisture content differences between shell and core of 2.5 cm-thick *Pinus densiflora* dried by constant temperature(CT) and continuously rising temperature(CRT) schedule.

Drying schedule	Avg. No. knots	Warp(mm)				Rate of Case hardening(%)	Moisture content difference between shell and core
		Cup	Bow	Crook	Twist		
CT	3.4	0.4	1.8	3.1	7.8	59	3.1
CRT	3.2	1.2	3.1	5.6	9.7	82	5.5

사가 거의 없어 공기로부터 목재로의 열유입도 매우 적게되므로 건조속도도 지연되는 것은 당연하다.

그러나 연속온도상승스케줄 적용시험에서는 건조 초기 일정한 상대습도(83%)조건에서 4~8℃의 비교적 균일한 온도차를 유지하다가 함수율단계에 따라 상대습도가 낮아짐에 따라 목재표면으로부터의 수분증발이 매우 활발히 진행되는 반면, 목재중심부에서의 건조속도는 충분히 증가되지 않아 상대적으로 공기와 두께 1/2지점간의 온도차는 급속히 증가하였다. 표 2에서 보았듯이 이 시기의 건조속도가 매우 큰 것도 이와 같은 심한 온도경사에 의한 효과적인 목재로의 열유입현상에 기인하는 것으로 사료된다. 섬유포화점부근에서 최대 온도차를 보인 이후 목재의 함수율이 감소함에 따라 온도차도 감소하였다. 그러므로 목재내부와 건조공기간의 안전하고도 적절한 수준의 온도경사를 밝힌다면 건조중 계속해서 그 온도차를 유지토록 하여 함수율단계에 관계없이 쥘 건조기간에 걸쳐 일정한 건조속도를 얻음과 동시에 획기적으로 건조시간을 단축할 수 있을 것이다. 그러나 목재내 두께 1/4 지점까지는 열유입과 수분증발이 비교적 수월하여 두께 1/4 지점과 공기간의 온도차는 0~3℃의 낮은 수준을 유지하고 있다.

한편, TDAL은 두 시험조건 모두에서 목재가 건조될수록 약간 상승하는 경향을 보였으며 특히, 연속온도상승스케줄 적용시험에서는 그 경향이 뚜렷하였다. 그러나 항온항습조건에서는 건조말기 오랜시간동안 일정한 온도에 건조시스템이 평형을 이루고 목재의 함수율은 이미 낮아져 공기로부터 열유입을 효과적으로 하지 못하게 되므로 오히려 온도차가 낮아지는 경향이 나타났다.

3. 3. 건조결합과 함수율분포

공시판재는 평균 3~4 개의 웅이를 지니고 있으며 각 건조방법에 따른 건조결합은 표 3 과 같았다. 각 건조방법 모두에서 할렬은 거의 발생하지

않았으며 건조종료 후 육안으로 식별할 수 있는 할렬은 전혀 없었다. 그러나 틀어짐은 심한 편으로 특히, 비틀림은 두 건조방법에서 모두 매우 심하였으며, 전반적으로 연속온도상승스케줄을 적용한 판재에서 보다 심한 틀어짐이 발생하였다.

표면경화율에 있어서도 연속온도상승스케줄 적용시험에서 매우 심하게 나타나 건조 중 상당한 응력이 발생함을 추정할 수 있었으며, 함수율경사도 5.5%로 항온항습조건에 의한 판재의 5 배에 달하였다. 그림 6 을 살펴보면 목재 두께 1/2 과 1/4 지점간의 온도차가 쥘 건조기간에 걸쳐 매우 심하나 상대적으로 항온항습조건에서는 건조초기 이미 온도차가 거의 상쇄되었음을 알 수 있다. 이와 같이 목재내 두지점간의 온도차가 크다는 것은 바로 두 지점간의 건조속도의 차가 크다는 사실을 의미하는 것으로 건조종료후 함수율경사도 커지게 된다.

4. 結 論

목재건조자동화시스템을 구성, 제어프로그램을 개발하고, 두께 2.5 cm 국산 소나무를 대상으로 연속온도상승스케줄과 항온항습(65℃, 50~60% RH)조건을 적용, 건조한 결과 연속온도상승스케줄 적용시험에서 평균 5.7%/hr의 매우 높은 건조속도를 얻었으나 틀어짐 특히, 비틀림현상이 심하게 발생하였고, 표면경화율 및 함수율경사도 큰 것으로 밝혀졌다. 따라서 금후의 연구에서는 본 실험에서 적용한 연속온도상승스케줄을 개량하여 현재의 건조속도를 유지하면서도 건조응력을 완화시킬 수 있는 새로운 스케줄의 개발이 요구된다.

參 考 文 獻

1. Wengert, E. M. and P. G. Evans. 1971. Automatic programming and control for steam-heated lumber dry kilns. *Forest Prod. J.* 21(2):56~59

2. Holmes, S. M. and D. G. Arganbright. 1976. Drying tests with a weight-actuated lumber drying control system. *Forest Prod. J.* 26(11):31~39
3. Microprocessor dry kiln control(Lignomat MP8). 1983. System optimizes kiln monitoring. Wood & Wood Products Sep.
4. Little, R. L., W. W. Moschler, and R. L. Toennisson. 1986. Design of a computer based controller-recorder for an experimental dry kiln. *Forest Prod. J.* 36(11/12):72~74
5. Shida, S., M. Chiba, and N. Nara. 1986. A computer-controlled system for operating kiln drying I. Conditions of practical system and an outline of a prototype one. *Hokkaido Forest Res. Ins.* 415(8):1~11
6. Shida, S. and N. Nara. 1988. A computer-controlled system for operating kiln drying II. How to solve the problem of output drifts of load cells caused by temperature changes. *Hokkaido Forest Res. Ins.* 2(1):1~10
7. Shida, S. and N. Nara. 1988. A computer-controlled system for operating kiln drying III. Performance of the "full-auto system" controlled by the continuous changing drying schedules on the basis of a moisture content measured by a moisture sensor consisted of a load cell. *Hokkaido Forest Res. Ins.* 2(2):10~20
8. Kunn, C. P. and H. F. Vermaas. 1988. The supervisory pc in process control systems with special reference to the kiln drying of wood. *Holz als Roh-und Werkstoff* 46:27~31
9. Kunn, C. P. and H. F. Vermaas. 1989. Computerized data-acquisition and control system for an experimental pressure steam dryer for lumber. *Holz als Roh-und Werkstoff* 47:261~265
10. Lee, Hyoung Woo. 1992. A study on the automation of external collector type solar-dehumidification drying of wood using a personal computer. *Korean Wood Sci. Tech.* 20(2):23~30
11. Dedrick, D. S. 1968. Kiln drying process. U. S. Patent 3,404,464
12. Nassif, N. M. 1979. An approach to the drying of *Eucalyptus Laevopinea* and *Eucalyptus Agglomerata* using CRT. Forestry Commission of N. S. W.
13. Lee, Sang Bong and Hee Suk Jung. 1989. Studies on predicting the kiln drying time and moisture content of board and dimension lumber of *Pinus densiflora* using an internal moisture diffusion model of softwood. *Korean Wood Sci. Tech.* 17(3):67~81